

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-102565

(43)公開日 平成5年(1993)4月23日

(51)Int.Cl. ⁴	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S	3/094			
	3/098	8934-4M		
	3/109	8934-4M		
		8934-4M	H 0 1 S	3/ 094 S
		8934-4M		3/ 23 S

審査請求 未請求 請求項の数1(全 4 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平3-262247
 (22)出願日 平成3年(1991)10月9日

(71)出願人 391001181
 金門電気株式会社
 東京都豊島区南池袋1丁目20番1号
 (71)出願人 000003942
 日新電機株式会社
 京都府京都市右京区梅津高畝町47番地
 (71)出願人 591114799
 中井 貞雄
 大阪府茨木市北春日丘3-6-45
 (74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

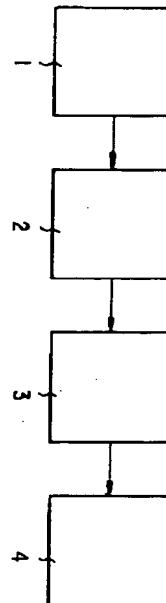
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザーシステム

(57)【要約】

【目的】 高電圧で高速大電流パルスを供給することなしに駆動でき、小型長寿命で良好な品質を有するレーザービームを発生することができるレーザーシステムを提供するにある。

【構成】 モード同期Qスイッチ型レーザー発振器では、レーザーダイオードアレイからのレーザー光によって固体レーザー媒体が励起されて近赤外領域のレーザービームが発生される。このレーザービームは、同様の固体レーザー媒質及びレーザー光を用いた再生増幅方式のレーザーダイオード励起型前置増幅器2及び2パス増幅方式のレーザーダイオード励起型主増幅器3で増幅されて非線形結晶を含む4倍高調波発生器4に導入される。4倍高調波発生器4によって近赤外波長のレーザービームは、紫外波長のレーザービームに波長変換される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザーダイオードからのレーザー光で励起されてレーザービームを発生するレーザー媒体を含むモード同期Qスイッチ型固体レーザーと、
 レーザーダイオードからのレーザー光で前記固体レーザーから発生されたレーザーを増幅する少なくとも1つの増幅器と、及び増幅されたレーザービームの波長を変換する変換器と、
 を具備するレーザーシステム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、波長を変換するレーザーシステム係り、特に、短いパルス幅を有し、高い平均出力で且つ、高効率で紫外レーザーを発生するレーザーシステムに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来、短いパルス幅を有し、高い平均出力で且つ、高効率で紫外レーザーを発生するレーザーシステムとして放電励起型希ガス－ハライド－エキシマレーザー、即ち、波長0.248 μm を発生するKrFレーザーが知られている。このようなエキシマレーザーは、確かに、短いパルス幅、高い平均出力、高効率という特徴を有しているが、これを駆動して紫外レーザーを発生させる為には、高電圧で高速大電流パルス放電を放電管内に生じさせる必要がある。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 従来の放電励起型希ガス－ハライド－エキシマレーザーでは、高電圧で高速大電流パルス放電を放電管内に生じさせる必要から、(1) レーザーの電源回路内のスイッチング素子の寿命が短く、(2) 電源回路からのノイズで周辺機器に障害が生じる虞があり、(3) 電源回路の小型化が困難である等の問題がある。更に、このようなエキシマレーザーから発生されるレーザービームの品質が悪い問題もある。

【0004】 この発明の目的は、上述した事情に鑑みなされたものであって、高電圧で高速大電流パルスを提供することなしに駆動でき、小型長寿命で良好な品質を有するレーザービームを発生することができるレーザーシステムを提供するにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】 この発明によれば、レーザーダイオードからのレーザー光で励起されてレーザービームを発生するレーザー媒体を含むモード同期Qスイッチ型固体レーザーと、レーザーダイオードからのレーザー光で前記固体レーザーから発生されたレーザーを増幅する少なくとも1つの増幅器と、及び増幅されたレーザービームの波長を変換する変換器とを具備するレーザーシステムが提供される。

【0006】

【作用】 この発明のレーザーシステムにおいては、定電

圧で動作し、しかも高効率、長寿命のレーザーダイオードが固体レーザー媒体を励起する為のレーザー光の光源として用いていることから、システム全体の高効率化、高繰り返し化、並びに長寿命及び小型化を図ることができる。モード同期Qスイッチ型固体レーザー発振器からの近赤外領域の短いパルス幅、例えば、1nsを有するレーザービームを固体増幅器で高出力に増幅した後、非線形光学結晶によって4倍高調波変換器で紫外光に変換していることから、高出力でビームの広がり角が小さく、しかも単一スペクトルのビームを得ることができる。固体レーザー媒体がエネルギー蓄積型であることを利用して固体レーザー前置増幅器として再生増幅方式を採用した場合には、レーザーダイオードアレイからのレーザー光を有効利用するすることができるとともにモード同期パルス列からの単一パルスを抽出する機能を兼ねさせることができ、小型化を達成することができる。前置増幅器によって飽和エネルギー強度まで増幅されたビームを更に構造が簡素で安価な2パス方式の主増幅器により増幅していることから、十分なパワーを有するレーザービームの波長が変換されることとなり、波長変換されたレーザービームも十分なパワーを有することとなる。

【0007】

【実施例】 以下この発明のレーザーシステムの実施例を図面を参照して説明する。

【0008】 図1は、この発明の一実施例に係るレーザーシステムを示すブロック図であって1は、略パルス幅1ns以下、近赤外領域の波長1.06 μm のレーザービームを発振するモード同期Qスイッチ型固体レーザー発振器を示している。このレーザー発振器1においては、固体レーザー媒体としてのNd:YAGのディスクが光学的共振器内に配置され、この固体レーザー媒体がレーザーダイオードアレイからの励起用レーザー光で励起されてレーザー光が共振器内に伝播される。このレーザー光は、同様に共振器内に配置されたエタロン板、Qスイッチ及び強制モード同期素子中を伝播される。レーザー光は、エタロン板によって波長選択されるとともにQスイッチによって同調され、強制モード同期素子によって外部からの信号に同期されて光学的共振器外に単一横モードのモード同期パルス列として安定したレーザービームが導出される。

【0009】 モード同期Qスイッチ型固体レーザー発振器1から導かれた近赤外領域のパルスレーザービームは、再生増幅方式の固体レーザー前置増幅器2に導入される。この前置増幅器2は、同様に励起用レーザー光を発生するレーザーダイオードアレイ及び光学的共振器内に配置されたレーザーダイオードアレイからの励起用レーザー光が照射される固体レーザー媒体としてのNd:YAGのディスク及びポッケルス偏向スイッチを含み、このレーザー媒体に入射されたレーザービームは、レーザーダイオードアレイからの励起用レーザー光によって

レーザー媒体中で再生増幅されると共にポッケルス偏向スイッチによって同期パルス列中の単一パルスのみが選択される。従って、レーザー媒体中では、その内に蓄積されたエネルギーが単一パルスのための再生増幅に費やされる。レーザー媒体から十分に抽出されたエネルギーがレーザービームに与えられてレーザービームが飽和エネルギー強度にまで達すると、光学的共振器から前置増幅器2外に導き出される。

【0010】前置増幅器2からのレーザービームは、更に2パス増幅方式の固体レーザー主増幅器3に導入される。固体レーザー主増幅器3は、前置増幅器2に比べて簡素な構成を有し、前置増幅器2と同様に励起用レーザー光を発生するレーザーダイオードアレイ及び光学的共振器内に配置されたレーザーダイオードアレイからの励起用レーザー光が照射される固体レーザー媒体としてのNd:YAGのディスクを含んでいる。この主増幅器3に導入されたレーザービームは、その内の固体レーザー媒体を往復して高出力に増幅され、共振器外に導出される。

【0011】主増幅器3で増幅されたレーザービームは、4倍高調波発生器4に導かれる。この4倍高調波発生器4は、BBO等の非線形光学結晶を含み、入射された $1.06\mu\text{m}$ の波長を有するレーザービームを4倍高調波に変換する。従って、4倍高調波発生器4からは、 $1.06\mu\text{m}$ の波長の4倍高調波に相当する $0.266\mu\text{m}$ の波長を有する紫外領域のレーザービームが出力される。

【0012】上述した実施例においては、固体レーザー媒質としてNd:YAGを用いた例について説明したが、固体レーザー媒質としてNd:YLF等の他の $1\mu\text{m}$ 帯に遷移を有する固体レーザー材料を用いても良い。

また、非線形光学結晶としBBOを用いた例を示したが、LBO或は、KD*Pを用いることもできる。

【0013】上述するように図1に示されるレーザーシステムにおいては、固体レーザー発振器1から近赤外領域で発振されたレーザービームは、前置増幅器2及び主増幅器3で増幅された後、4倍高調波発生器4によって紫外領域の波長を有するレーザービームに変換される。このようなレーザーシステムは、高い平均出力を有する紫外レーザービームを高効率で発生することができ、システムとして高電圧を発生して大電流パルスレーザー装置に供給する必要があることから、システム自体を小型にすることができ、長寿命を達成することができる。しかも、良好なビーム品質を有するレーザービームを発生することができる。紫外レーザービームを発生するシステムとしては、放電励起型希ガスハライドエキシマレーザー、特に、波長 $0.248\mu\text{m}$ を発生するKrFレーザーに代えた新規な固体レーザー発振器を提供することができる。尚、固体レーザー発振器1のレーザー媒質及び4倍高調波発生器4の非線形素子の材料を選定して発振波長及び変換される高調波を適宜代えることによって近紫外領域に限らず、他の波長領域のレーザービームを出力することができる。

【発明の効果】

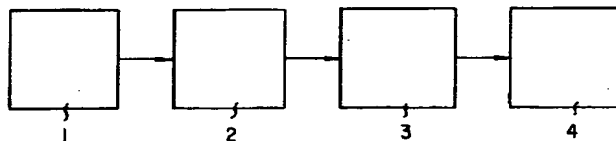
【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の一実施例に係るレーザーシステムを示すブロック図。

【符号の説明】

- 1・・・固体レーザー発振器
- 2・・・前置増幅器
- 3・・・主増幅器
- 4・・・4倍高調波発生器

【図1】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁵

H01S 3/11
3/25

識別記号 庁内整理番号
8934-4M

F I

技術表示箇所

(71)出願人 591114803
財団法人レーザー技術総合研究所
大阪府大阪市西区靱本町1丁目8番4号
大阪科学技術センタービル内
(72)発明者 山中 千代衛
大阪府大阪市西区靱本町1丁目8番4号
財団法人レーザー技術総合研究所内

(72)発明者 中井 貞雄
大阪府茨木市北春日丘3丁目6番45号
(72)発明者 中塚 正大
奈良県生駒市緑ヶ丘1425番地の78
(72)発明者 山中 正宣
大阪府箕面市石丸3丁目25番E-205号
(72)発明者 内藤 健太
奈良県生駒市有里町29番地の15

(11) Japanese Unexamined Patent Application Publication No.
5-102565

(43) Publication Date: April 23, 1993

(21) Application No. 3-262247

(22) Application Date: October 9, 1991

(71) Applicant: Kimmon Electric Co., Ltd., et al.

(72) Inventor: Sadao NAKAI, et al.

(74) Agent: Patent Attorney, Takehiko SUZUE

(54) [Title of the Invention] LASER SYSTEM

(57) [Abstract]

[Object] To provide a small-sized laser system having a long life and capable of generating a laser beam having high-quality, which can be driven without supplying a high-voltage, high-speed and high-current pulse.

[Construction] In a mode-locking Q-switching laser oscillator, a solid-laser medium is excited by laser light from a laser-diode array to generate a near-infrared region laser beam. This laser beam is amplified by a reproduction-amplification method laser diode excitation type pre-amplifier 2 using a similar solid laser medium and laser light and a two-pass amplification method laser diode excitation type main amplifier 3, and is led into a four-fold higher harmonic wave generator 4 including a nonlinear

crystal. The four-fold higher harmonic wave generator 4 performs wavelength conversion on the near-infrared wavelength laser beam into an ultraviolet wavelength laser beam.

[Claim]

[Claim 1] A laser system comprising: a mode-locking Q-switching solid laser including a laser medium generating a laser beam by being excited by laser light from a laser diode;

at least one amplifier for amplifying the laser generated from the solid laser by the laser light from the laser diode; and a converter for converting a wavelength of the amplified laser beam.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of Industrial Application] The present invention relates to a laser system for converting a wavelength, and particularly to a laser system for generating ultraviolet laser having a short pulse width, high average output with high efficiency.

[0002]

[Description of the Related Art] Up to now, a discharge-excitation-type noble-gas-halide-excimer laser, that is to say, a KrF laser which generates a wavelength of 0.248 μm is known as a laser system generating an ultraviolet laser having a short pulse width and high average output with high efficiency. Such an excimer laser surely has a characteristic of having a short pulse width, high average output and high efficiency. However, in order to generate

ultraviolet laser by driving this, it is necessary to generate a high-voltage, high-speed, and high-current pulse discharge in an electric discharge tube.

[0003]

[Problems to be Solved by the Invention] In a known discharge-excitation-type noble-gas-halide-excimer laser, there are problems in that since it is necessary to generate a high-voltage, high-speed, and high-current pulse discharge in an electric discharge tube, (1) a life of a switching element in the power-source circuit of the laser is short, (2) noises from the power-source circuit may cause problems on peripheral devices, and (3) the miniaturization of the power-source circuit is difficult, etc. Furthermore, there is a problem in that the laser beam generated from such an excimer laser has poor quality.

[0004] An object of the present invention has been made in view of the above described circumstances and is to provide a small-sized laser system having a long life and capable of generating a laser beam having high-quality, which can be driven without supplying a high-voltage, high-speed and high-current pulse.

[0005]

[Means for Solving the Problems] According to the present invention, there is provided a laser system including: a mode-locking Q-switching solid laser including a laser

medium generating a laser beam by being excited by laser light from a laser diode; at least one amplifier for amplifying the laser generated from the solid laser by the laser light from the laser diode; and a converter for converting a wavelength of the amplified laser beam.

[0006]

[Operation] The laser system of this invention is operated by a constant voltage and uses laser light for a highly efficient and long-life laser diode to excite a solid laser medium as a light source, and thus the overall system can have improved efficiency, can become highly repetitive, and can have a longer life and a smaller size. A laser beam having a near-infrared region short pulse width, for example, 1 ns from the mode-locking Q-switching solid laser oscillator is amplified to high output by a solid amplifier, and then is converted into ultraviolet light by a four-fold higher harmonic wave converter using a nonlinear optical crystal. It is therefore possible to obtain a beam with high output power, having a small divergent angle and a single spectrum. In the case of adopting a reproduction amplification method as a solid-laser pre-amplifier using the fact that a laser medium is an energy-storage type, laser light from the laser-diode array can be effectively used and can also serve a function of extracting a single pulse from a mode-locking pulse string, thereby making it

possible to achieve miniaturization. The beam amplified to a saturated energy strength by the pre-amplifier is amplified by an inexpensive two-pass method main amplifier having a further simple structure, and thus conversion is performed on a laser-beam wavelength having a sufficient power, thereby the wavelength converted laser beam also has a sufficient power.

[0007]

[Embodiment] In the following, a description will be given of an embodiment of a laser system of the present invention with reference to the drawing.

[0008] Fig. 1 is a block diagram illustrating a laser system according to an embodiment of the present invention. Reference numeral 1 denotes a mode-locking Q-switching solid laser oscillator for oscillating a laser beam having substantially a pulse width of 1 ns or less and a near-infrared region wavelength of 1.06 μm . In the laser oscillator 1, a Nd:YAG disc is disposed in an optical resonator as a solid-laser medium, and this solid-laser medium is excited by excitation laser light from a laser-diode array to propagate the laser light in the resonator. This laser light is propagated through an etalon plate, a Q switch and a forced-mode locking element disposed in the resonator in the same manner. The laser light is wavelength selected by the etalon plate and is tuned by the Q switch,

and is locked by an external signal by a forced-mode locking element to be led out of the optical resonator as a single lateral-mode mode-locking pulse string to produce a stable laser light.

[0009] The near-infrared region pulse laser beam led from the mode-locking Q-switching solid laser oscillator 1 is led into a reproduction-amplification method solid laser pre-amplifier 2. The pre-amplifier 2 includes a laser-diode array for similarly generating excitation laser light, a Nd:YAG disc as a solid-laser medium illuminated by excitation laser light from the laser-diode array disposed in the optical resonator, and a Pockels polarization switch. The laser beam incident on the laser medium is reproduced and amplified in the laser medium by the excitation laser light, and only a signal pulse of the locking pulse string is selected by the Pockels polarization switch. Thus, in the laser medium, the energy stored therein is consumed for reproduction and amplification of only a single pulse. When energy sufficiently extracted from the laser medium is given to the laser beam so that the laser beam reaches to saturated energy strength, the laser beam is led outside of the pre-amplifier 2 from the optical resonator.

[0010] The laser beam from the pre-amplifier 2 is further led into a two-pass amplification method solid laser main amplifier 3. The solid laser main amplifier 3 has a simpler

structure compared with the pre-amplifier 2. In the same manner as the pre-amplifier 2, the solid laser main amplifier 3 includes a laser-diode array for similarly generating excitation laser light and a Nd:YAG disc as a solid-laser medium illuminated by excitation laser light from the laser-diode array disposed in the optical resonator. The laser beam led into the main amplifier 3 goes and comes back through the solid-laser medium therein to be amplified to high output, and is led outside of the resonator.

[0011] The laser beam amplified by the main amplifier 3 is led into a four-fold higher harmonic wave generator 4. This four-fold higher harmonic wave generator 4 includes a non-linear optical crystal such as a BBO and converts the incident laser beam having a wavelength of $1.06\text{ }\mu\text{m}$ into a four-fold harmonic wave. Accordingly, the four-fold higher harmonic wave generator 4 outputs an ultraviolet region laser beam having a wavelength of $0.266\text{ }\mu\text{m}$ corresponding to the four-fold the wavelength of $1.06\text{ }\mu\text{m}$.

[0012] In the above-described embodiment, a description has been given of an example using Nd:YAG, etc., as a solid laser medium. However, a solid laser material having transition in a $1\text{ }\mu\text{m}$ band may be used as a solid laser medium in addition to Nd:YLF, etc. Also, an example using a BBO as a non-linear optical crystal has been shown. However, it is possible to use LBO or KD*P.

[0013] As described above, in the laser system shown in Fig. 1, the laser beam oscillated in the near-infrared region from the solid laser oscillator 1 is amplified by the pre-amplifier 2 and the main amplifier 3, and then is converted into a laser beam having an ultraviolet region wavelength by the four-fold higher harmonic wave generator 4. Such a laser system is capable of generating an ultraviolet laser beam having a high average output, and it is not necessary to generate a high voltage as a system to supply a high-current pulse to the laser device. It is therefore possible to make the system itself small in size to achieve a long life. Furthermore, it is possible to generate a laser beam having a good beam quality. For a system for generating an ultraviolet laser beam, it is possible to provide a new solid laser oscillator replaced by a discharge-excitation-type noble-gas-halide-excimer laser, in particular, a KrF laser for generating a wavelength of $0.248\text{ }\mu\text{m}$. In this regard, it is possible to output a laser beam in the other wavelength region without limiting to an ultraviolet region by appropriately replacing the oscillation wavelength and the converted higher harmonic wave by selecting the laser medium of the solid laser oscillator 1 and the material of the nonlinear element of the four-fold higher harmonic wave generator 4.

[Advantages]

[Brief Description of the Drawings]

[Fig. 1] Fig. 1 is a block diagram illustrating a laser system according to an embodiment of the present invention.

[Reference Numerals]

- 1 ... solid laser oscillator
- 2 ... pre-amplifier
- 3 ... main amplifier
- 4 ... four-fold higher harmonic wave generator

Fig. 1

